



## Zusammenfassung

Der überwiegende Anteil des Trinkwasserbedarfs wird aus Brunnen gedeckt. Im Laufe der Betriebszeit eines Brunnens bauen sich in den Strömungskanälen und Poren, durch die das Wasser der Förderstelle zuströmt, Ablagerungen und Inkrustationen auf. Durch diesen schleichenden Vorgang wird die entnehmbare Wassermenge immer geringer und der Brunnenbetrieb schließlich unwirtschaftlich.

Es wird ein Verfahren vorgeschlagen, mit dem die Verstopfungen der brunnenumgebenden Strömungskanäle aufgebrochen und die ursprüngliche Ergiebigkeit des Brunnens weitgehend wiederhergestellt werden kann. Diese Methode sieht vor, Explosivstoffe in das brunnenumgebende, geogen oder anthropogen entstandene Substrat (meist Partikelhaufwerk aus Lockergestein-Grundwasserleiter, Filterkiesschüttung) ein- und zur Detonation zu bringen. Durch die so in der Brunnenumgebung hervorgerufenen Erschütterungen, hohen Druckgradienten und schnellen, instationären Strömungsvorgänge werden Inkrustationen aufgebrochen, Ablagerungen aufgelockert, pumpbar gemacht und dem Wasser neue Strömungswege eröffnet. Auf diesem Wege lassen sich, im Unterschied zu anderen Vorgehensweisen, die typischerweise aus dem Inneren des Brunnenrohres oder zumindest in unmittelbarer Nähe der Brunnenwand agieren, insbesondere auch strömungsbehindernde Ablagerungen und Verstopfungen wirtschaftlich und bedarfsweise großräumig beeinflussen, die sich in brunnenwandferneren Zonen der Kiesschüttung und des Aquifers befinden. Die Abb. 4 skizziert eine typische Ausführungsvariante des vorgeschlagenen Verfahrens.

## Anwendungsgebiet

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regenerierung von Brunnen für die Wassergewinnung, entsprechend dem Oberbegriff des Anspruchs 1, durch Sprengung(en) außerhalb der Brunnenröhre.

## Einführung, Begriffserklärungen

Trink- und Brauchwasser wird in unserem Land überwiegend aus Brunnen gewonnen. Die Herstellung und der Aufbau bzw. Ausbau eines Brunnens sind in der Literatur /1/, /2/ beschrieben. Abb. 1 zeigt schematisch den typischen Aufbau eines vertikalen Bohrbrunnens in Lockergestein mit Filterrohr und Kiesschüttung. Die folgenden Erläuterungen beziehen sich bevorzugt auf eine derartige Brunnenausführung, sind jedoch sinngemäß auch auf andere Varianten, z. B. Horizontalfilterbrunnen, zu übertragen. Ein wesentliches Ziel der Wassererschließung und des Brunnenbetriebes besteht darin, unter den gegebenen geohydraulischen Eigenschaften des Grundwasserleiters aus einem Brunnen eine möglichst große Wassermenge fördern zu können bei möglichst geringer Absenkung des Wasserspiegels.

Nun ist bekannt, daß ein Brunnen im Laufe seiner Nutzungsdauer Alterungseffekten unterliegt, die zu einem Abfall des förderbaren Wasservolumenstromes führen können und damit die genannte Zielsetzung beeinträchtigen. Anders ausgedrückt, verringert sich im Laufe der Betriebszeit die spezifische Ergiebigkeit, das ist - strenggenommen nur bei gespanntem -, vereinfacht betrachtet auch bei freiem Grundwasserleiter - der Quotient aus gefördertem Volumenstrom und der sich dabei im Brunnen einstellenden Absenkung des Wasserspiegels. Ursachen für die Brunnenalterung sind im DVGW Merkblatt W 130 /3/ und bei Tholen /4/

aufgezählt und erläutert. Die wichtigsten sind:

- Versandung, ein physikalischer Vorgang, bei dem für die Wasserführung wichtige Poren durch Feinpartikel verengt werden; er ist bestimmt von porengeometrischen und hydraulischen Gegebenheiten. Die Wiederablagerung der vom strömenden Fluid mitgerissenen Feststoffpartikel, die zur Verstopfung von Strömungsquerschnitten in Brunnennähe führen kann, wird auch als Kolmation bezeichnet.

- Versinterung, das ist die chemische Ausfällung von Kalkverbindungen wie Calciumcarbonat in den Filterrohrschlitzen und in den brunnenumgebenden Porenräumen.

Besonders häufig tritt auf die

- Verockerung, d. h. die Anlagerung teils hochviskoser, gelartiger, meist aber dehydrierter, gesteinsartig verfestigter Eisen- und Manganverbindungen in den technischen Ausbaumaterialien des Brunnens (Filterrohrschlitze, Kiesschüttung) und im Porenraum des brunnenumgebenden Aquifers, verursacht durch chemische Reaktion von löslichem zweiwertigem Eisen und Mangan zu unlöslichen, dreiwertigen bzw. vierwertigen Ionen und/oder durch biologische Aktivität von Mikroorganismen.

Versandung, Versinterung und biologische wie chemische Verockerung können auch in Kombination auftreten. Die genannten Alterungsmechanismen führen zu immer weiterem Zuwachsen der Porenräume und Strömungsquerschnitte. Das Zwischenstadium eines solchen Vorgangs ist schematisch in Abb. 2 skizziert. Als Folge stellt sich der oben beschriebene Abfall der Ergiebigkeit ein. Ferner erhöht sich durch die bei absinkendem Wasserspiegel zunehmende Förderhöhe die Leistungsaufnahme der Brunnenpumpe und führt damit unerwünscht zu höheren Betriebskosten. Abb. 3 zeigt, wie sich der Betriebswasserspiegel eines gealterten Brunnens im Vergleich zum Neuzustand einstellt. Im oberen Teil der Darstellung ist skizziert, daß ein erhöhter Strömungswiderstand nahe der Brunnenrohrwand auftritt, unten ist zu sehen, daß die widerstandserhöhenden Porenverengungen im äußeren Bereich der Kiesschüttung bzw. am Rande des Aquifers liegen.

## Stand der Technik in der Brunnenregenerierung und seine Nachteile

Um die Ablagerungen, Beläge und Inkrustationen zu beseitigen, eingeengte oder verstopfte Strömungswege zu öffnen und damit die Ergiebigkeit des Brunnens zu verbessern und möglichst weitgehend wiederherzustellen, wurden verschiedene Methoden der Brunnenregenerierung entwickelt. Unter Regenerierung versteht man Maßnahmen zur Wiederherstellung der Leistung/Funktion des Brunnens ohne bauliche Veränderungen, (die Wiederherstellung von Leistung/Funktion mit baulichen Veränderungen wird als Sanierung bezeichnet). Beispielsweise sind im DVGW Merkblatt W 130 /3/ und bei Tholen /4/ gängige mechanische, hydraulische und chemische Verfahren beschrieben. Tholen zählt zu den mechanischen Verfahren das Bürsten und Kolben (mechanisch-hydraulisch). Zu den hydromechanischen oder hydraulischen rechnet er die Anwendung von Wasserhochdruck, seltener Druckluft mit bewegten oder rotierenden Düsen, Entsandungsverfahren wie Klarpumpen, Schocken mittels Pumpe oder Luft, Kolben, druckluftbetriebene Entsandungsseiler und die abgepackte Unterwasserpumpe.

Ferner nennt er das HAPETA-Schockentsanden, das Mainzer Mehrfach-Vertikal-Spülverfahren, das Erzeugen von Druckimpulsen durch die Explosion eines Gasgemisches, das Absenken des Ruhewasserspiegels durch Pressluft, das Erzeugen von Vibrationen mittels Schwingungserzeuger oder durch Schallwellen und das Sprengschocken. Bei den chemischen Methoden nennt er den Einsatz von organischen und anorganischen Säuren und erwähnt als Apparate den Regenerierkolben und den Kieswäscher mit Online-Steuerung.

Mechanische, hydraulische und chemische Verfahren erfordern – trotz anhand der Fach- und Patentliteratur erkennbarer, fortschreitender technischer Entwicklung (beachte z. B. den o. g. Kieswäscher mit Online-Steuerung des pH-Wertes bzw. des nachzudosierenden chemischen Regeneriermittels /9/ oder das HAPETA-Schockentsandungsverfahren) – einen beträchtlichen Zeit- und damit Kostenaufwand. Teils werden sie mit befriedigendem (Stadtwerke Wiesbaden) /5/, teils aber auch mit sehr unbefriedigendem Erfolg (Stadtwerke Krefeld) /6/ ausgeführt. Eine Ursache für mangelnden Erfolg kann darin liegen, daß ein Einwirkungsvermögen dieser Verfahren auf brunnenferne Teile dickerer, (mehrfacher) Kiesschüttungen, wie sie gerade bei älteren Brunnen häufig anzutreffen sind, und erst recht auf den brunnenumgebenden Aquifer aus strömungstechnischen Gründen nur sehr beschränkt bzw. garnicht vorhanden ist. Die meisten Regeneriermethoden agieren nämlich von der Brunnenröhre aus, in diese werden die schon genannten technischen Apparate (Bürsten, Kolben, gepackte Umwälzpumpen, Wasserstrahl- sowie Druckluftdüsen, ...) und/oder Chemikalien eingebracht. Dabei werden die Filterschlitz selbst und wandnahe Zonen der Kiesschüttung in der Regel einigermaßen gut durchströmt und gereinigt, wandfernere Bereiche jedoch kaum erfaßt, da die aufgetragten Strömungen sich stets den leichteren, d. h. wandnahen Weg suchen. Diese Auffassung wird von Tholen (/4/, S. 110) geteilt für den Fall der Entsandung: "Bei allen Entsandungsmaßnahmen, die eine Säuberung des GW-Leiters zum Ziel haben, sollte man bedenken, daß diese zunehmend schwierig wird, je weiter die Bohrlochwand vom Filter entfernt ist, also bei großen Ringräumen z. B. bei Mehrfachschüttungen (vgl. Kap. 6. 2). Das Wasser wird hier verstärkt den einfacheren vertikalen Weg durch den Ringraum suchen." Nach Meinung des Anmelders beschreibt Tholens Äußerung ebenfalls die strömungstechnische Situation für die Beseitigung von Verockerungs- und Versinterungsprodukten und gilt insbesondere auch – obwohl von deren Protagonisten eifrig bestritten – als Einschränkung für die Leistungsfähigkeit chemischer Verfahren, die den gleichen strömungstechnischen Gesetzmäßigkeiten unterworfen sind. Bereits zitierte Krefelder Mißerfolge mit chemischen Methoden /6/ könnten ein Beleg dafür sein. Zahlreiche mündliche Mitteilungen anderer Brunnenbetreiber über erfolglose Regenerierungsversuche sprechen ebenfalls für diese These.

Der Nachteil einer geringen Einwirkungstiefe in das brunnenrohrumgebende Partikelhaufwerk gilt auch für die relativ neue Technik der Ultraschallanwendung zur Brunnenregenerierung, bei diesem Verfahren beträgt sie nur wenige Zentimeter /1/.

Bei chemischen Regeneriermethoden ist zusätzlich der Nachteil vorhanden, daß trotz sorgfältiger Verfahrensführung nicht auszuschließen ist, daß ein Teil der Regenerierchemikalien, anorganische und organische Säuren nebst Additiven, durch die Grundwasserströmung verdriftet werden und so, aus wasserrechtlichen, hygienischen und ökologischen Gründen unerwünscht, im Aquifer verbleiben und das Grundwasser verschmutzen.

Beim verbreiteten Einsatz organischer Säuren als Reini-

gungsmedium kommt es vor, daß diese von den Mikroorganismen im Grundwasser als Nährstoffquelle verwendet werden, was zu ihrem verstärkten Wachstum, einer langdauernden, gelegentlich mehrmonatigen Verkeimung und zu einer beschleunigten Alterung des Brunnens führen kann (siehe z. B. /3/, S. 8).

Ebensowenig ist es mit den üblicherweise verwendeten Regenerierchemikalien möglich, feine Quarzpartikel zu lösen und auszutragen, die den Aquifer verstopfen.

Von den Stadtwerken Karlsruhe /8/ wird berichtet, daß selbst eine hydromechanische Reinigungsmethode, bei der eine Wasserhochdrucksonde außerhalb des Brunnenrohres an mehreren Stellen in die Kiesschüttung eingeführt wird, nicht bei allen Brunnen einen angemessenen Regeneriierungserfolg bringt. Der Autor führt dies darauf zurück, daß die porverstopfende Verockerung auch noch in den Aquifer außerhalb der Kiesschüttung hineinreicht und mit dem genannten Verfahren nicht beseitigt werden konnte. Auch von anderen Wasserwerken liegen dem Anmelder gleichlautende mündliche Informationen über fehlenden Regeneriierungserfolg dieses Verfahrens vor.

An dieser Stelle sei ein Klassiker des Brunnenbaus (/1/, S. 366) zitiert: "Die Ablagerungen (gemeint sind unlösliche Eisen- und Manganverbindungen) setzen sich nicht nur auf dem Filterrohr, in den Filteröffnungen und in den Poren der Kiesschüttung, sondern auch in den Sanden und Kiesen des Grundwasserleiters ab und führen zu einem allmählichen Dichtwerden des gesamten durchflußwirksamen Porenraums im Eintrittsbereich von Brunnen."

Führt man sich die zitierten Erkenntnisse der Stadtwerke Karlsruhe /8/, von Bieske /1/ und Tholen /4/ vor Augen, so wird deutlich, daß es sinnvoll ist, nach einer Regeneriierungsmethode zu suchen, die nicht nur beim Filterrohr und der Kiesschüttung des eigentlichen Brunnens sondern auch beim brunnenumgebenden Aquifer eine weitreichende Verbesserung der Durchströmbarkeit erzeugt. Aus Äußerungen Tholens (/4/, S. 20) läßt sich die in der Praxis gelegentlich bestätigte Erkenntnis ableiten, daß manchmal bereits Neubrunnen einen den Grundwasserleiter betreffenden "Regenerierungsbedarf" haben: "Das entscheidende Hindernis und damit den größten Eintrittswiderstand für das Wasser bildet immer der durch den Bohrvorgang am meisten geschädigte Nahbereich des Brunnens und dies nicht nur bei Spülbohrungen.

Bei Heinze /10/, (S. 437) findet sich der Vorschlag, durch Sprengung in der Brunnenbohrung, die als "Torpedierung" bezeichnet wird, eine "Reinigung perforierter Rohre (auch Filter) zur Erhöhung der Fördermenge durch Erschütterung" vorzunehmen. Weiter führt er (S. 438) aus: "Die Reinigung von Filtern oder perforierten Rohren von Förderrückständen (Sand, Eisenoxide u. ä.) kann auch durch Schnurtorpedos ermöglicht werden." (Bei "Schnurtorpedos" handelt es sich um einen speziellen, mit Textilfasern und Kunststoffhülle umfaßten, in Schnurform gefertigten Explosivstoff.)

Seit etwa 1993 wird von den Berliner Wasserbetrieben /11/ – von Seiten des Anmelders seit Jahrzehnten betriebene, vergleichbare, jedoch nicht publizierte Aktivitäten in diesem Arbeitsgebiet seien hier unberücksichtigt – das von Heinze beschriebene Verfahren aufgegriffen und unter der Bezeichnung "Sprengschocken" als ein "schonendes" Verfahren der Brunnenregeneration propagiert, bei dem, wie auch schon seit Jahrzehnten von der "Brunnentorpedierung" nicht ausgebauter Brunnen bekannt (vgl. G. Keller /12/, H. Schneider /2/), im Brunnenrohr – hier des typischerweise mit Voll-/Filterrohr und Kiesschüttung ausgebauten Brunnens – eine Sprengladung gezündet wird. Im Fall des Sprengschockens ist diese Ladung i. d. R. über die Höhe der Filterstrecke verteilt und so schwach bemessen, daß zumin-

dest metallische Filterrohre bei der Detonation nicht zerstört werden. Mit dieser Ladungsbegrenzung wird gleichzeitig zwangsläufig die regenerierende Sprengwirkung, die unten noch detaillierter erläutert wird, auf die umgebende Kiesschüttung und den Aquifer ebenfalls begrenzt und relativ gering gehalten. Da die Erhaltung anderer, weit verbreiteter Brunnenausbaumaterialien mit geringerer mechanischer Festigkeit (PVC, Holz, Steinzeug) bei diesem Verfahren nicht gewährleistet werden kann, werden bei derartig ausgebauten Brunnen zur Abstützung der inneren Brunnenwand teure metallische Einschiebfilter (typisch Wickeldrahtfilter) eingebaut. Das ursprüngliche Filter, z. B. aus PVC, wird bei der Sprengung zerstört. Die Detonationswirkung der Sprengladung muß wiederum an der Festigkeit des metallischen Einschiebfilters bemessen werden und kann sich nicht an der wünschenswerten Einwirktiefe in Kiesschüttung und insbesondere brunnenumgebenden Aquifer orientieren.

Die Detonationsfolgen, bestehend aus einer Stoßwelle, dem Gasdruck der mit hoher Geschwindigkeit expandierenden Reaktionsprodukte des Sprengmittels mit den dadurch hervorgerufenen, heftigen Strömungsvorgängen und den begleitenden, instationären mechanischen Schwingbeschleunigungen (Erschütterungen), müssen durch die Brunnenwand bzw. durch die Brunnenfilterschlitz hindurch wirken, um in der Kiesschüttung und im Aquifer das Partikelhaufwerk aufzulockern, die Ablagerungen zu zerstören, abpumpbar zu machen und dadurch neue Strömungswege zu eröffnen. Der Durchgang der Stoßwelle durch die Wand bzw. der expandierenden Detonationsgase durch die Filterschlitz hindurch ist mit einem Druck- und Wirkungsverlust verbunden, so daß an den maßgeblichen, mit anderen bekannten Verfahren nicht beeinflussbaren Stellen, nämlich in den wandferneren Teilen der Kiesschüttung und im Aquifer, auch bei dieser Regenerationsmethode nur noch ein abgeschwächter Effekt von häufig unzureichender Wirksamkeit zur Verfügung steht.

[Allenfalls bei Johnson- bzw. Wickeldrahtfiltern kann von einer halbwegs günstigen Strömungsführung der Sprengschwaden gesprochen werden, die in Verbindung steht mit einer für die Anwendung des Verfahrens ebenfalls günstigen, relativ großen, freien Filterfläche. Alle anderen, auch metallischen Filterkonstruktionen (Schlitzbrückenfilter) besitzen bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten, wie sie bei einer Detonation auftreten, für die Ausbreitung sehr ungünstige (hoher Druckverlust) Strömungsquerschnitte und eine ebenfalls ungünstige, nur geringe freie Filterfläche. Derartige, ungünstige Bedingungen finden sich häufig bei älteren Brunnen, die ja gerade zur Regenerierung anstehen.]

#### Aufgabe der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, die prinzipiellen Vorteile des Einsatzes von Explosivstoffen zur Regeneration von Brunnen, die in der Zerstörung von Inkrustationen aus Versinterung und Verockerung, im Auflockern und Pumpbar machen von in Kiesschüttung und Lockergestein eingelagerten Feinpartikeln und in der Eröffnung neuer Strömungswege bestehen, weitaus effektiver nutzbar und auch auf bisher als unregenerierbar geltende Anwendungsfälle mit Aussicht auf Erfolg anwendbar zu machen, als dies bei der bisher bekannten Verfahrensweise möglich ist. Insbesondere sollen auch brunnenwandfernere Teile der Kiesschüttung und des Aquifers, deren Durchströmbarkeit mit bekannten Methoden garnicht oder zumindest nicht kostengünstig und wirksam zu verbessern ist, die aber häufig einen maßgeblichen Anteil am Ergiebigkeitsabfall eines Brunnens haben, in ihrer Wasserdurchlässigkeit weitgehend wieder hergestellt werden können, ohne dabei den Brunnen zu zerstören.

Anmerkung: Es versteht sich von selbst, daß für das zu erfindende Verfahren nur Explosivstoffe zur Anwendung gelangen sollen, die samt ihren Reaktionsprodukten die Eigenschaften des Lebensmittels Trinkwasser hinsichtlich seiner Genußtauglichkeit und gesundheitlichen Wirkung nicht ungünstig beeinflussen. Dabei muß es sich nicht notwendigerweise um heute gebräuchliche Explosivstoffe handeln. Hinsichtlich der Entwicklung im Explosivstoffsektor sei exemplarisch auf /14/ und /15/ verwiesen.

#### Lösung der Aufgabe

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren nach den Merkmalen von Anspruch 1 gelöst, nämlich durch Sprengung(en) außerhalb, aber in angemessener Entfernung zur Brunnenröhre.

#### Vorteile der Erfindung

Beim Sprengen außerhalb (jedoch in angemessener Nähe) des Brunnens ist das Brunnenrohr nicht mehr, im Gegensatz zur Sprengung in der Brunnenröhre, das der Sprengladung am nächsten liegende Bauteil. Das Maximum der Detonationswirkung trifft deshalb nicht mehr zwangsläufig das Brunnenrohr, sondern kann die ihm zugeordnete Arbeit, die Wiederherstellung alter und Eröffnung neuer Strömungswege, am Aquifer und an der Kiesschüttung verrichten, bevor die Detonationsfolgen in gedämpfter Form von außen auf das Brunnenrohr treffen, dessen Beulsicherheit gegen den auftretenden Außendruck bei der Ladungsbemessung natürlich berücksichtigt werden muß. Der Abstand der Sprengladung(en) zum Brunnen sowie die Stärke der Ladung(en) und damit ihre Regenerationswirkung können in deutlich weiteren Grenzen der gegebenen Situation, d. h. der Art und Lage der Ablagerungen und Verstopfungen angepaßt werden, als es bei der Sprengung im Brunnenrohr möglich ist.

Bei größerem Abstand der Ladung zum Brunnen ist es möglich, durch eine höhere Sprengmittelmasse – ohne Zerstörungsgefahr für das Brunnenrohr – ein um ein vielfaches größeres Volumen an hochgespannten, gasförmigen Reaktionsprodukten zu erzeugen als bei der Innensprengung, die bei ihrer Expansion (bei geeigneter Anordnung der Ladung) mit hoher Strömungsgeschwindigkeit in Richtung des Brunnenfilterrohres (!!) abströmen, dabei durch das ebenfalls mit hoher Geschwindigkeit mitströmende Wasser eine gute Transportwirkung für Feinpartikel besitzen und so eine große Fracht abgesprengter Inkrustationsprodukte und Feinteilchen in den Brunnen austragen, wo sie abgepumpt werden können.

Durch eine weiträumige Anordnung der Ladung(en) ist auch eine weiträumige Auflockerung des Aquifers möglich, so daß damit die porengemetrischen und hydraulischen Bedingungen für das Abpumpen von Feinpartikeln bedarfsweise weiträumig verbessert werden können. Unter Auflockerung ist insbesondere auch die Überwindung von interpartikulären Haftkräften (z. B. van der Waals Kräften) zu verstehen, durch die Feinpartikel bei geringem Abstand, der durch dichte Lagerung entsteht, aneinander und an die Oberfläche größerer Partikel gebunden werden /13/. Nach Trennung der Feinpartikel durch die von der Sprengung weiträumig erzeugten Druck-, Scher- und Beschleunigungskräfte werden günstigere Bedingungen für einen Transport durch die Schleppkräfte der nachfolgenden Abpumpströmung geschaffen.

Die Stärke der Ladung muß nicht, wie bei der "Imlochsprengung", vorrangig an der beschränkten mechanischen Festigkeit des Brunnenfilterrohres bemessen werden, son-

dem kann bei Außensprengung gezielt in die zu beaufschlagende Zone eingebracht und ggf. mit geeignetem, größerem Abstand zum Filterrohr für den eigentlichen Anwendungszweck, nämlich die Zerstörung von karbonat-, eisen- und manganhaltigen Ablagerungen in den Porenräumen der Filterkiesschüttung und des Aquifers, höher und damit wirkungsvoller dosiert werden.

Die Wirkungen der Detonation werden nicht, wie bei der "Brunneninnensprengung" durch einen beträchtlichen Anteil (z. B. 85% bis 92%) an nicht durchströmbarer Wandfläche des Filterrohres aufgefangen und damit weitgehend unwirksam, auch werden die letztlich durch die geringe Filterschlitzfläche hindurch wirkenden Druck- und Strömungskräfte nicht nochmals durch einen dabei auftretenden Strömungsdruckverlust abgeschwächt sondern wirken bei der Außensprengung ohne störende Wand in vollem Umfang zur Eröffnung neuer Wasserwegsamkeiten auf das verstopfte Partikelhaufwerk von Kiesfilterschüttung und Aquifer.

Als weiterer Vorteil ist anzusehen, daß bei der Außensprengung häufiger auf die Verwendung eines teuren Einschubfilters verzichtet werden kann als bei Sprengung in der Brunnenröhre.

In Abb. 6 sind zur Verdeutlichung der obigen Ausführungen die Fluiddruckverläufe einer Sprengung außerhalb des Brunnenrohres im Vergleich zu einer innerhalb des Brunnens qualitativ skizziert, die man im Verlauf einer Detonation als Maximalamplituden in verschiedenen Abständen zum Brunnen bzw. zur Detonationsstelle messen könnte. Aus der Darstellung wird nochmals das bereits Gesagte deutlich, daß, unter gleichgehaltener Belastung für die Filterrohrwand, bei Sprengung außerhalb des Brunnens im brunnenumgebenden Grundwasserleiter und in der Kies-schüttung signifikant größere Fluiddrücke (sinngemäß zu ergänzen: auch Erschütterungen und Fluidströmungsgeschwindigkeiten) zur Zerstörung von Inkrustationen und zur Öffnung von Strömungswegen als Regenerationsmechanismen zur Verfügung stehen als bei einer Detonation innerhalb des Brunnenfilters. Das wird beispielsweise an der Grenzfläche zwischen Kiesschüttung (K) und Aquifer (A) evident, die entsprechenden Fluiddrücke sind mit  $p(A/K)_{\text{außen}}$  für die Außensprengung und  $p(A/K)_{\text{innen}}$  für die Innensprengung gekennzeichnet. Ferner ist der Strömungsdruckverlust  $\Delta p_R$  eingetragen, der beim Durchtritt der Fluidströmung durch die geringe freie Filterschlitzfläche auftritt und bei der Innensprengung eine Abschwächung der Regenerationswirkung zur Folge hat, während bei der Außensprengung die an dieser Stelle strömenden Fluide den größten Teil ihrer Regenerationsarbeit am brunnenumgebenden Partikelhaufwerk bereits verrichtet haben.

#### Beschreibung von Ausführungsbeispielen

##### Beispiel 1

Brunnenregenerierung durch Außensprengung in mehreren radial um den Brunnen herum angeordneten, linienförmig über die Höhe des Brunnenfilterrohres mit Explosivstoff befüllten Ladebohrungen

Die Abb. 4 zeigt den schematisierten Längs- und Querschnitt durch einen Brunnen in Lockergestein mit freiem Grundwasserspiegel. Radialsymmetrisch um den Brunnen herum sind im Abstand "Brunnenachse-Ladebohrung" vier Ladebohrungen vertikal bis auf die Höhe der Brunnensohle abgeteuft. Um einen Einsturz der Bohrungswände vor dem Ladevorgang zu vermeiden, können die Bohrungswände mit Rohren ausgebaut sein. Über die Länge des Brunnenfilters

sind die Ladebohrungen mit je einer schnurförmig verteilten Explosivstoffladung bestückt, die mit je einem leitungsgebundenen, elektrischen Sprengzünder zur Detonation gebracht werden kann. Die Zündung der einzelnen Ladesäulen erfolgt in einem definierten, zeitlichen Abstand von 50 ms. Die Ladungen sind so bemessen, daß durch die Folgen der Detonation keine Beul- und Zerstörungsgefahr für das Brunnenrohr entsteht, im Lockergesteins-Aquifer und in der Kiesschüttung jedoch die oben beschriebene Verbesserung der Durchströmbarkeit hervorgerufen wird. Nach der Sprengung werden in bekannter Weise mittels einer in das Brunnenrohr eingesetzten Unterwasserpumpe die durch die Detonationswirkung gelösten Verkrustungsprodukte und Feinpartikel abgepumpt. Bedarfsweise kann dieses Abpumpen, gängigen Regenerationsmethoden entsprechend, abschnittsweise erfolgen.

##### Beispiel 2

20 Brunnenregenerierung im Kluftgrundwasserleiter durch Detonation einer Explosivstoffladung außerhalb des Brunnenrohres

In diesem Beispiel eines Brunnens in klüftigem Festgestein, das in Abb. 5 skizziert ist, wird die Position der Ladebohrung und die Setztiefe des Explosivstoffes durch die Lage des Kluftgrundwasserleiters bestimmt. Eine häufige Alterungsart dieses Typs von Grundwasserleiter ist die Ausfällung von kalkhaltigen Versinterungsprodukten. Der Vorteil der dargestellten Anordnung im Vergleich zur Sprengung im Brunnenrohr liegt darin, daß die technischen Ausbaumaterialien des Brunnens geschont werden können, die auch in Festgestein häufig zur Vermeidung von Nachfall, z. B. aus geneigten Schichten, eingebaut sind. Desweiteren können durch eine oder mehrere zusätzliche Lade- oder Hilfsbohrung(en), in der(denen) eine Detonation erzeugt wird, dem vorhandenen Brunnen benachbarte, bisher nicht hydraulisch angeschlossene, wasserführende Klüfte durch die mit der Detonation verbundene Erschließung neuer Strömungswege an die vorhandene Förderstelle hydraulisch angebunden werden.

##### Literatur

- 45 /1/ Bieske, Erich  
Bohrbrunnen,  
7. Auflage, R. Oldenbourg, München 1992
- /2/ Schneider, Hans  
50 Die Wassererschließung  
2. Auflage, Vulkan, Essen, 1973
- /3/ Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW)  
55 DVGW Merkblatt W 130 Brunnenregenerierung  
DVGW Eschborn, April 1992
- /4/ Tholen, Michael  
Arbeitshilfen für den Brunnenbauer  
60 R. Müller, Köln, 1997
- /5/ Berger, Hubert; Drews, Monika; Lux, Karl-Norbert  
Nachweis von Regeneriereffekten bei Brunnen der Stadtwerke Wiesbaden AG  
65 bbr Wasser und Rohrbau, 1, 1995, S. 24-31
- /6/ Leda, Hans-Dieter  
Brunnenregenerierung in den Städtischen Werken Krefeld

- DVGW/FIGAWA Intensivschulung Brunnenregenerierung,  
11./12. Nov. 1997, Gera
- /7/ Hug, Nicola  
Modellversuche zur Ultraschall-Brunnenregenerierung 5  
DVGW/FIGAWA Intensivschulung Brunnenregenerierung,  
11./12. Nov. 1997, Gera
- /8/ Schiemann, Thomas; Hofmann, Bernd; Maier, Dietrich  
Neue Erkenntnisse im Zusammenhang mit der Brunnenalter- 10  
-regenerierung bei den Stadtwerken Karlsruhe  
bbr Wasser und Rohrbau, 8, 1997, S. 24-30
- /9/ Paul, Kerry F.  
Chemische Brunnenregenerierung 15  
DVGW/FIGAWA Intensivschulung Brunnenregenerierung,  
11./12. Nov. 1997, Gera
- /10/ Heinze, Helmut, Autorenkollektiv  
Sprengtechnik – Anwendungsgebiete und Verfahren 20  
VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig,  
1987
- /11/ Rübesame, Klaus  
Schonender Einsatz von Sprengstoff zur Brunnenregenerie- 25  
-rung  
bbr Wasser und Rohrbau 3, 1996, S. 18-24
- /12/ Keller, Gerhard  
Angewandte Hydrogeologie 30  
Wasser und Boden, Hamburg, 1969
- /13/ Rumpf, Hans  
Haftung und Festigkeit von Agglomeraten – Vergl. zw. Mo-  
dellrechng. und Experim. 35  
Pharmazeutische Industrie 4, 1972, S. 270-281
- /14/ Fraunhofer Institut für chemische Technik (ICT)  
Energetic Materials – Technology, Manufacturing and Pro-  
cessing 27th International Annual Cotilerence of ICT, Pfinz- 40  
tal 1996
- /15/ Plichta, Peter  
God's Secret Formula  
Element Books, Shaftesbury/Dorset, 1997 45

#### Patentansprüche

1. Verfahren (und/oder) Vorrichtung(en) zur Erzeu- 50  
gung von Stoßwellen und/oder zum schnellen, schlag-  
artigen Aufbau hoher Druckgradienten, die geeignet  
sind, schnelle Strömungsvorgänge hervorzurufen und/  
oder zur Erzeugung starker, instationärer Schwingbe-  
schleunigungen zum Zwecke der Regeneration und/  
oder Sanierung von Brunnen, d. h. zur Anhebung und 55  
zur möglichst weitgehenden Wiederherstellung der  
durch Alterung abgefallenen, zurückgegangenen Er-  
giebigkeit, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Quel-  
le(n) der Stoßwellen(n) und /oder der hohen, schnelle  
Strömungsvorgänge hervorrufenden (Fluid-)Drücke 60  
und/oder der hohen Schwingbeschleunigungen außer-  
halb des Brunnenrohres angeordnet ist (sind) und dort  
zur Reaktion/Explosion gebracht wird (werden).
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeich- 65  
net, daß die Stoßwelle(n) und/oder die hohen Drücke  
und/oder die starken Schwingbeschleunigungen (wahl-  
weise aber bevorzugt) durch die detonationsartig  
schnell ablaufende chemische Reaktion eines oder ver-

schiedener Explosivstoffe(s), herbeigeführt wird/wer-  
den. Die Explosivstoffe können Feststoffe, Flüssigkei-  
ten, Gase oder Gemische dieser Bestandteile sein.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeich-  
net, daß die Stoßwelle(n) und/oder die hohen Drücke  
und/oder die starken Schwingbeschleunigungen (wahl-  
weise auch) durch einen explosionsartig schnell ab-  
laufenden Vorgang hervorgerufen wird/werden, wie er  
(beispielsweise) durch die Phasenänderung (Verdamp-  
fung) einer erhitzten, hochgespannten Flüssigkeit  
(z. B. Wasser) bei plötzlicher Dekompression und da-  
mit einhergehender Überhitzung auftritt.

4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, daß der (die) sich (chemisch  
und/oder physikalisch) explosionsartig umwandelnde(n) Stoff(e) durch mit Rohren ausgebaute oder nicht  
ausgebaute Ladebohrungen an geeigneter Stelle in die  
Brunnenumgebung, vorzugsweise auf Höhe der Filter-  
strecke, eingebracht wird/(werden).

5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, daß der (die) sich (chemisch  
und/oder physikalisch) explosionsartig umwandelnde(n) Stoff(e) durch bohrungslose Verfahren wie etwa  
durch eine im Spülverfahren niedergebrachte  
Schlauchleitung an geeigneter Stelle in die Brunnen-  
umgebung, vorzugsweise auf Höhe der Filterstrecke,  
eingebracht wird/(werden). Weitere Einbringungs-  
/Einleitungsmethoden aufführen?

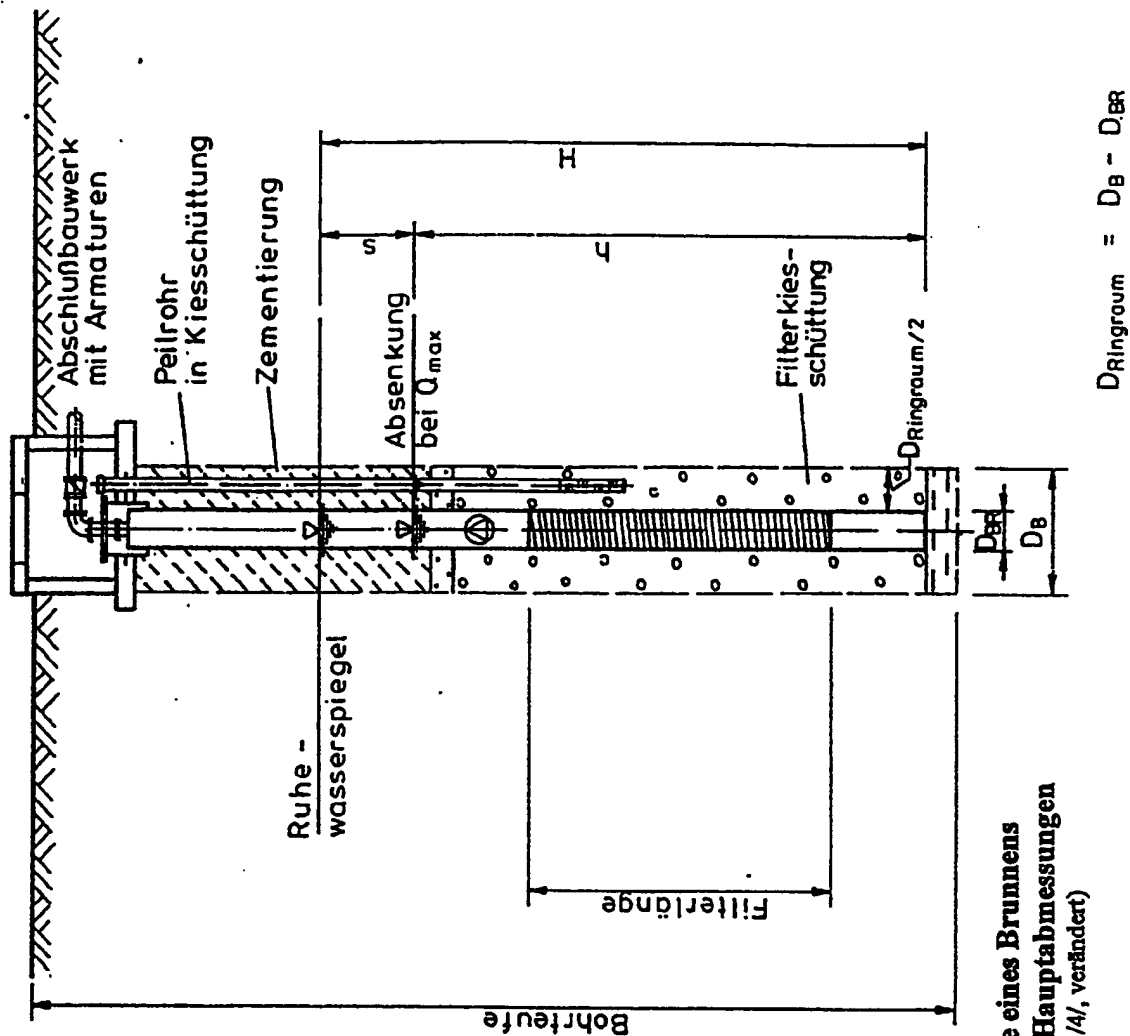
6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, daß die schnell, schlagartig  
wirkenden Reaktionsstoffe/Explosivstoffe in Anpas-  
sung an Art und Lage der strömungsbehindernden Ver-  
stopfungen sowohl für eine kleinräumige als auch be-  
vorzugt für eine großräumige Anwendung in der Um-  
gebung des Brunnens (typisch: Kiesfilterschüttung  
und/oder Aquifer aus Lockergestein) bemessen, ver-  
teilt und zur Reaktion/Explosion gebracht werden.

7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, daß die schnell, schlagartig  
wirkenden Reaktionsstoffe/Explosivstoffe in einer  
Charge konzentriert oder in mehreren Chargen verteilt,  
wahlweise gleichzeitig, schnell nacheinander (z. B. im  
zeitlichen Abstand von 25 ms) oder in größeren zeitli-  
chen Abständen, z. B. mit zwischengeschalteten ande-  
ren Verfahrensschritten, wie etwa dem Abpumpen be-  
reits gelockerter Bruchstücke von Verkrustungen/  
Feinpartikeln, zur Reaktion/Explosion gebracht wer-  
den.

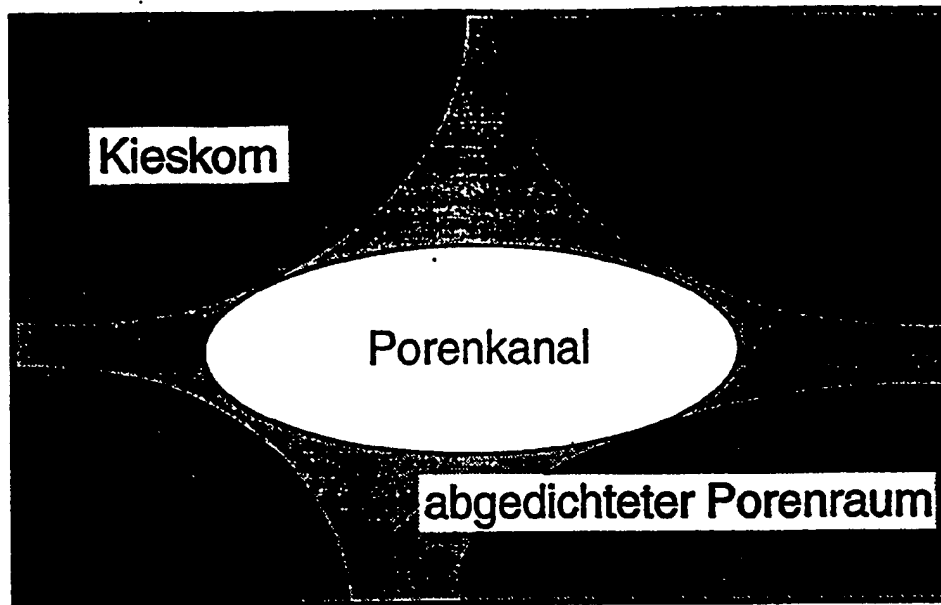
---

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

---



**Abb. 1: Prinzipskizze eines Brunnens  
in Lockergestein mit Hauptabmessungen**  
 (nach Treskatis aus Tholen /4/, verändert)

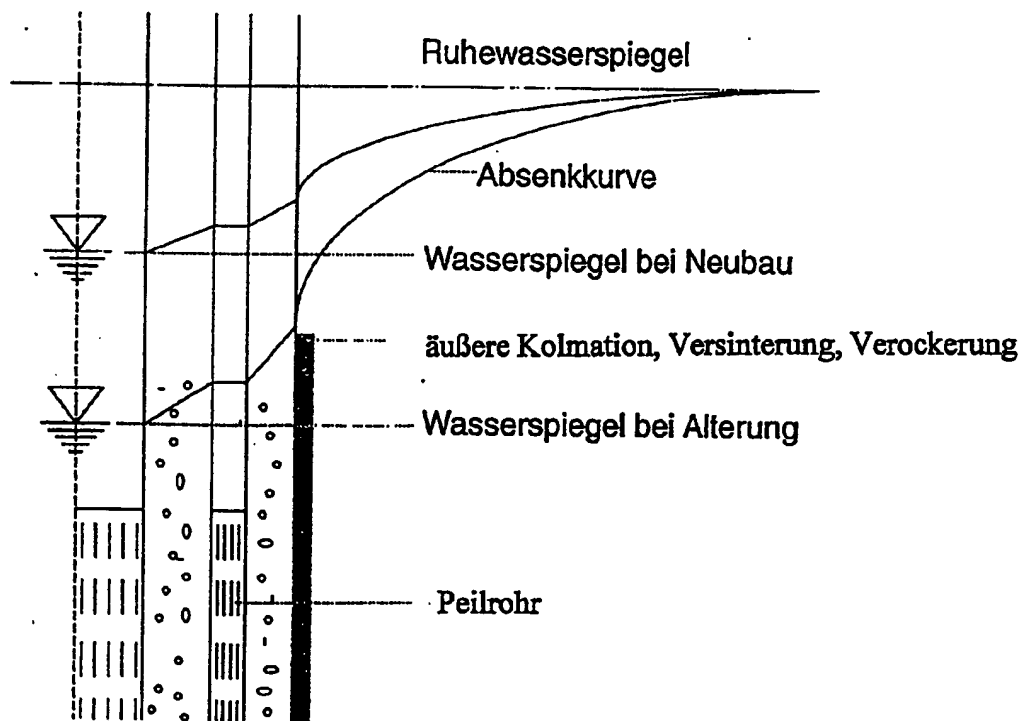
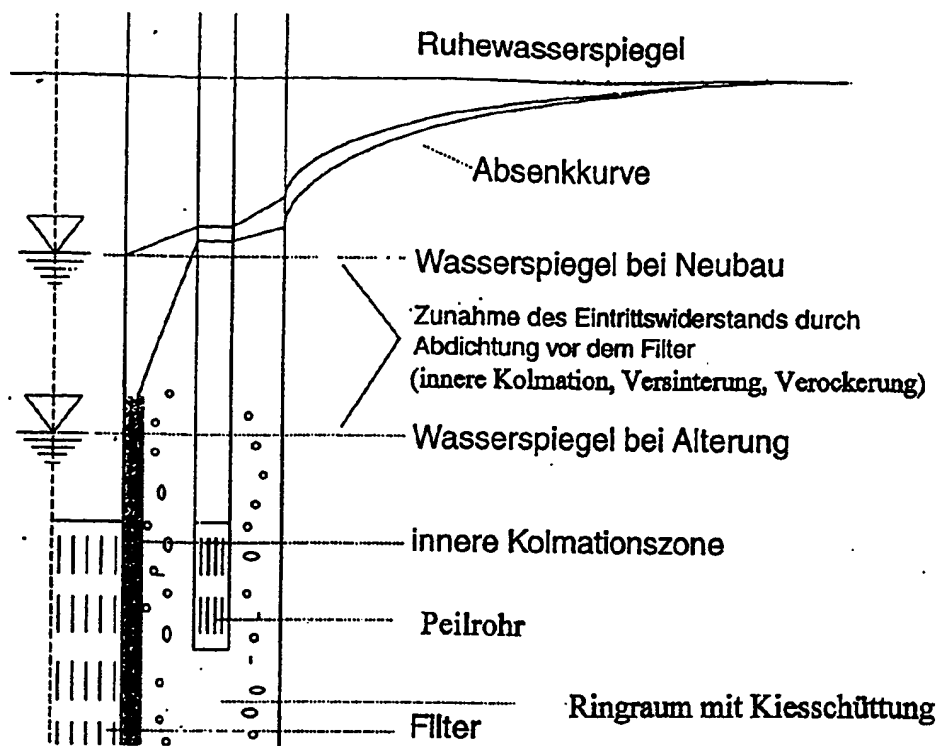


**Abb. 2: Durch Alterungsmechanismen (Versinterung, biologische, chemische Verockerung, Feinpartikelanlagerung) zuwachsender Porenraum**

Im dargestellten Zustand ist der Porenkanal noch durchströmbar. Die Abdichtung schreitet jedoch weiter fort, von den vorhandenen Oberflächen ausgehend.

(Prinzipskizze nach Tholen /4/, verändert)



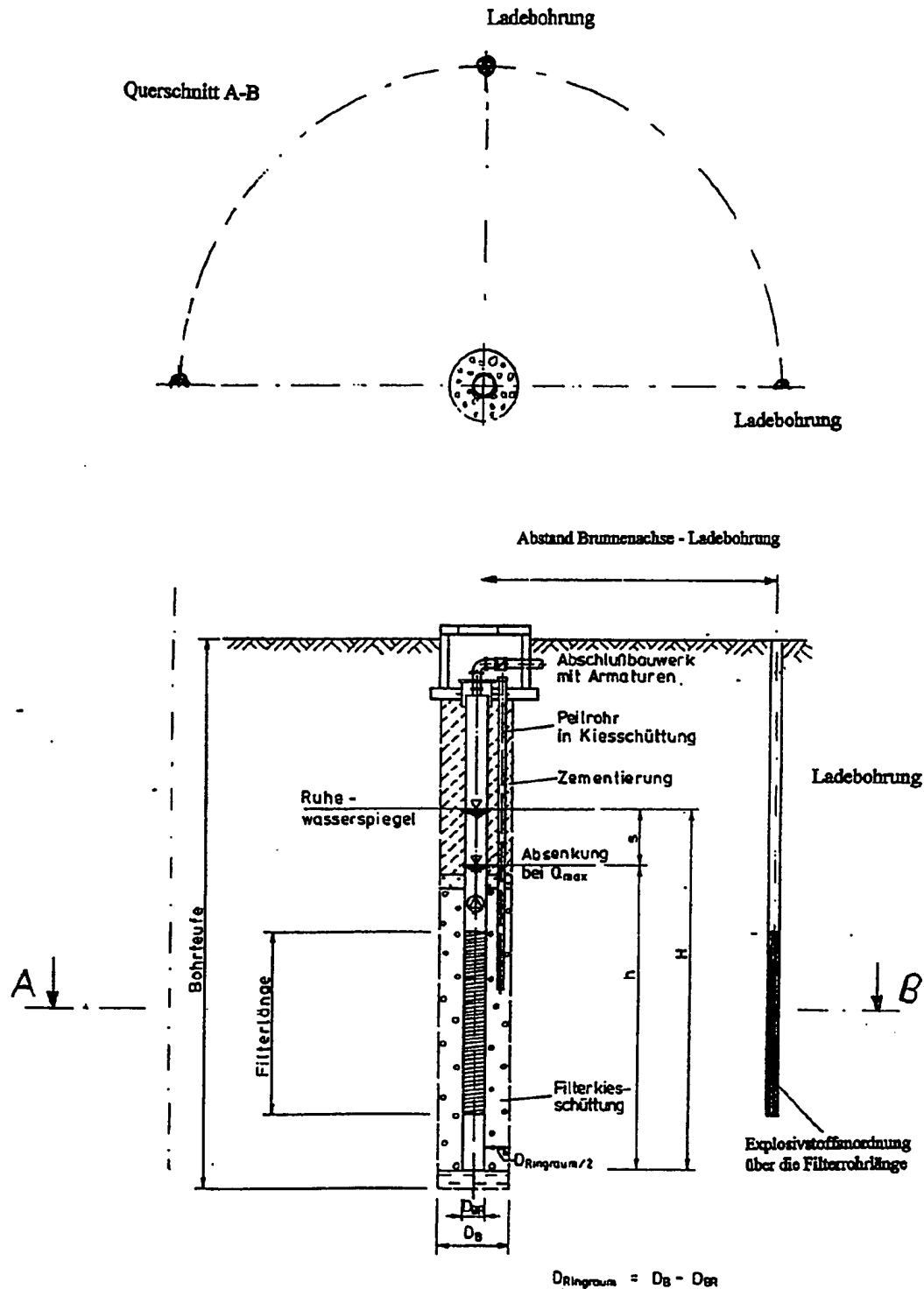


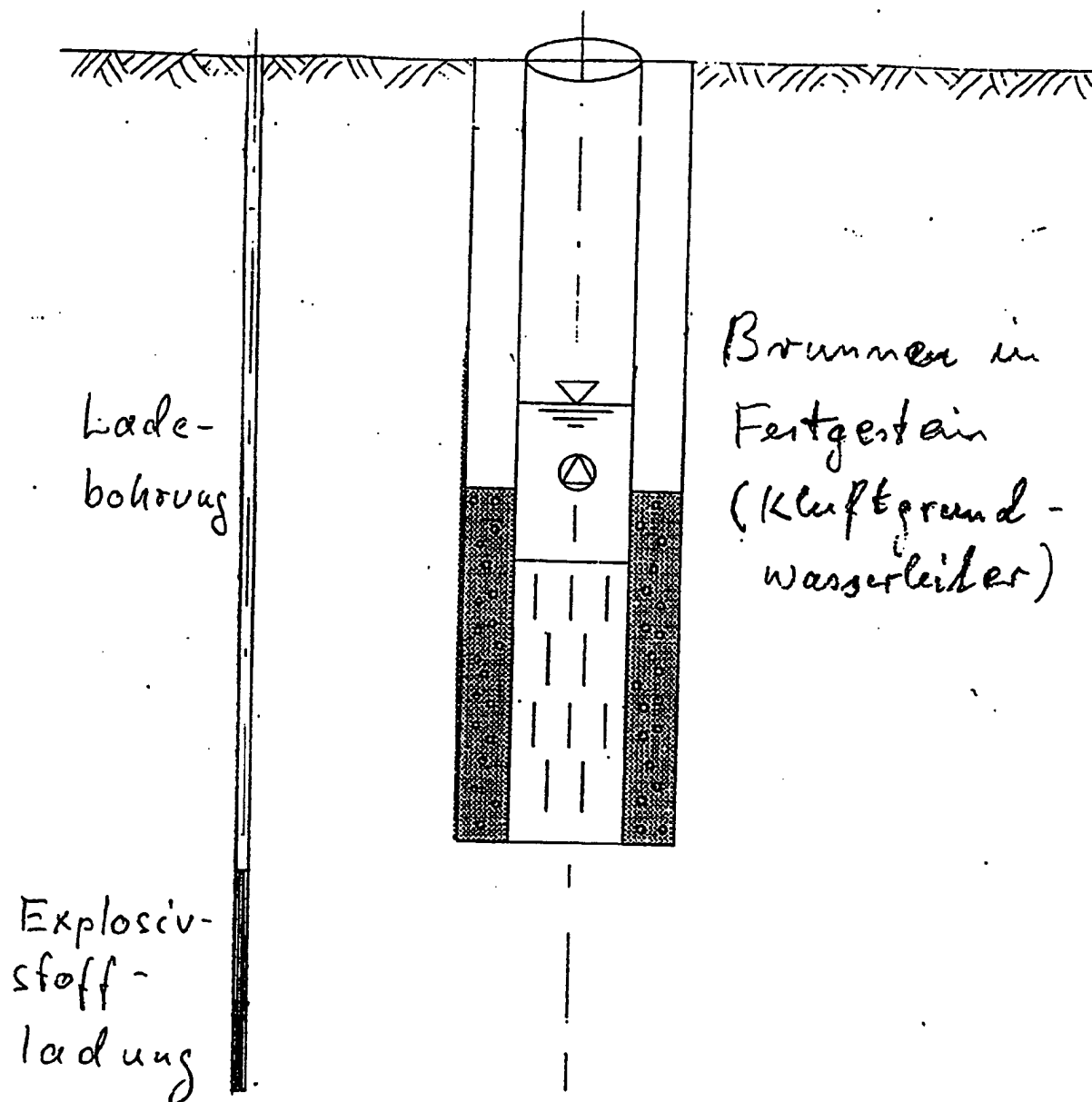
**Abb. 3: Auswirkungen der Brunnenalterung, dargestellt anhand der Absenkkurve des Betriebswasserspiegels**

oben: Erhöhung des Eintrittswiderstandes nahe dem Brunnenfilterrohr

unten: Erhöhter Eintrittswiderstand am Rande des Aquifers, an der Bohrlochwand  
(Skizze nach Tholen /4/, verändert)

Abb. 4: Skizze zu Beispiel 1; Brunnenregenerierung durch Außensprengung in mehreren (hier 4) radial um den Brunnen herum angeordneten, linienförmig über die Länge des Brunnenfilters mit Explosivstoff befüllten Ladebohrungen

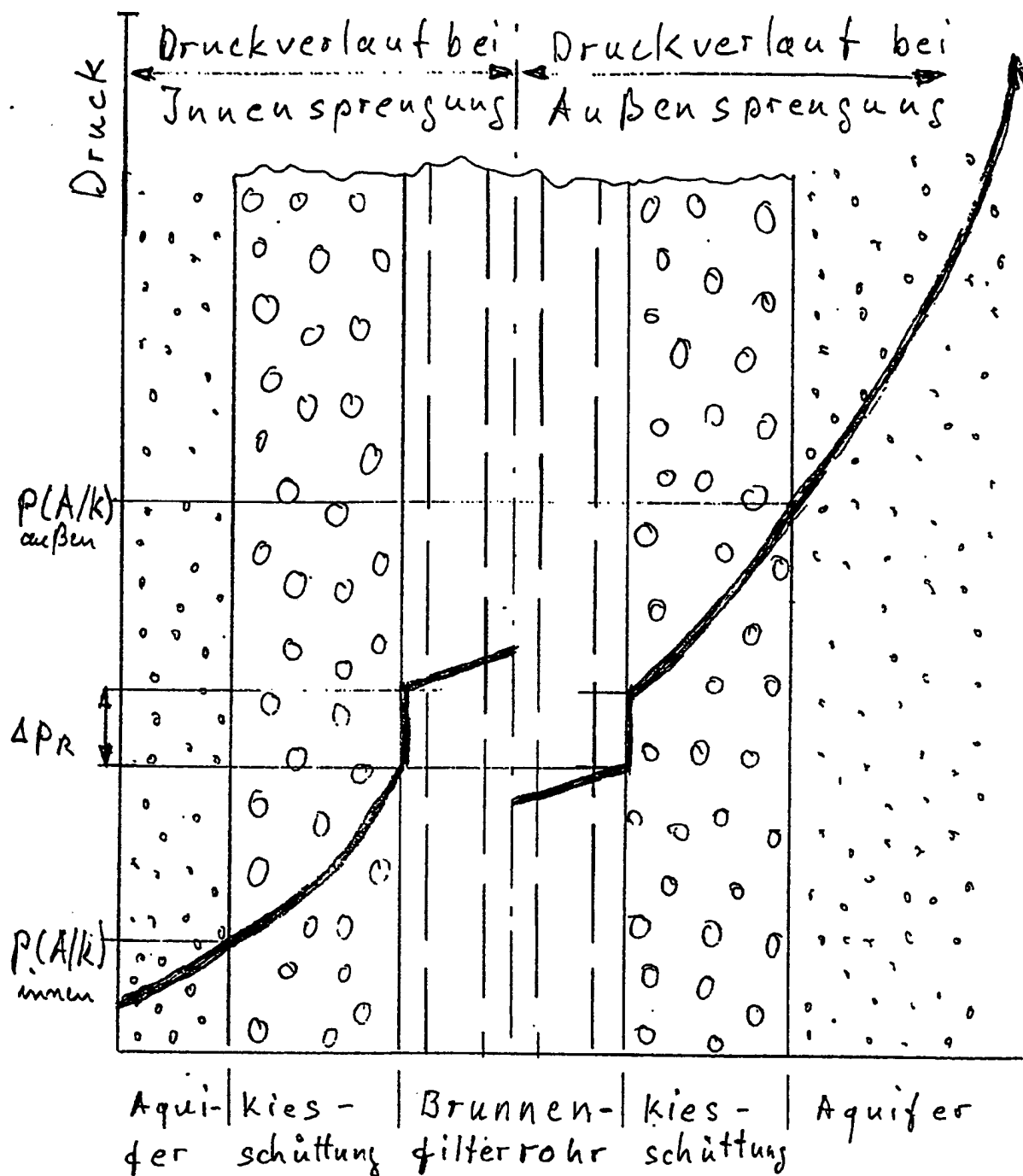




**Abb. 5: Skizze zu Beispiel 2; Brunnenregenerierung im Kluftgrundwasserleiter durch Sprengung außerhalb des Brunnenrohres (Zerstörung von Versinterungsablagerungen)**

Die Position der Ladebohrung und die Setztiefe der Explosivstoffladung (hier unterhalb der Brunnensohle) wird bestimmt durch die Lage des Kluftgrundwasserleiters

(Vorteil im Vergleich zur Sprengung im Brunnenrohr: Schonung der technischen Ausbaumaterialien des Brunnens, die auch im Festgestein häufig zur Vermeidung von Nachfall, z. B. aus geneigten Schichten, eingebaut sind.)



**Abb. 6: Qualitativer Vergleich der Fluiddruckverläufe bei Explosivstoffdetonationen außerhalb und innerhalb des Brunnenrohres**

links der Mittellinie: Druckverlauf bei Innen-, rechts: bei Außensprengung

Den signifikant größeren Einfluß einer Detonation außerhalb des Brunnenrohres auf das brunnenumgebende Partikelhaufwerk erkennt man beim Vergleich der Drücke an der Grenzfläche (Aqui-fer/Kiesschüttung) im Falle der Außensprengung  $p(A/K)_{\text{außen}}$  und der Innensprengung  $p(A/K)_{\text{innen}}$ . (Der Druckverlust  $\Delta p_R$  bei der Durchströmung der Brunnenfilterrohrschlitze wird maßgeblich beeinflusst durch die geringe freie Filterfläche typischer Filterrohre.)